МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE





УДК 621.7
https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-1-42-49

Научная статья

Отделочно-зачистная обработка длинномерных деталей в винтовых роторах

В. А. Лебедев[1], **Л. М. Р. Аль-Обайди**[1, 2] ✉, **Н. С. Коваль**[1]
[1]Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону, Российская Федерация)
[2]Технологический институт Багдада Среднего технического университета (Багдад, Республика Ирак)
✉ luayrajab@yahoo.com

Введение. Для поиска эффективных методов отделочно-зачистной обработки длинномерных деталей целесообразно создать роторно-винтовую технологическую систему проходного типа. Основной ее рабочий элемент — винтовой ротор, представляющий собой сочетание плоских элементов различной формы и типоразмеров, разнонаправленных по отношению к винтовым линиям по периметру.

Цель настоящего исследования — обоснование интенсивности процесса обработки в устройствах, оснащенных винтовым ротором.

Материалы и методы. В качестве основного параметра, определяющего интенсивность процесса обработки деталей в винтовых роторах, принят съем металла. В рамках представленного исследования обработка выполнялась на экспериментальной роторно-винтовой установке. Обрабатывающая среда состояла из формованных абразивных гранул марки ПТ 10×10. Условия исследования:

— объем загрузки (без детали) — 60 %,
— скорость вращения ротора — 50 об/мин,
— время обработки — 30, 60, 90 мин,
— углы наклона оси винтового ротора — 0° и 5°.

Влияние режимов и условий обработки на интенсивность процесса рассматривалось на пластинчатых образцах с размерами 80×10×1 мм из алюминиевого сплава Д16Т. Для определения съема металла образцы до и после обработки взвешивали на аналитических весах Ohaus AX223.

Результаты исследования. Представлены закономерности съема металла с образцов при различных продолжительности обработки, расположении образцов в рабочей зоне винтового ротора с разными углами наклона и скорости его вращения.

Обсуждение и заключения. Установленные в ходе исследований закономерности свидетельствуют об эффективности роторно-винтовых технологически систем для решения задач, связанных с отделочной обработкой длинномерных деталей. Основные факторы, обеспечивающие управление такой обработкой в устройствах с винтовым ротором и влияющие на его интенсивность (и, как следствие, — на производительность процесса): скорость вращения винтового ротора, форма периметра и угол наклона оси.

Ключевые слова: отделочно-зачистная обработка, винтовой ротор, длинномерные детали, обрабатывающая среда, интенсивность процесса, съем металла.

Для цитирования: Лебедев, В. А. Отделочно-зачистная обработка длинномерных деталей в винтовых роторах / В. А. Лебедев, Л. М. Р. Аль-Обайди, Н. С. Коваль // Advanced Engineering Research. — 2022. — Т. 22, № 1. — С. 42–49. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-1-42-49



Original article

The finishing and cleaning of long parts in screw rotors

Valery A. Lebedev[1], **Luay Mohammed Rajab Al-Obaidi**[1,2], **Nikolay S. Koval**[1]
[1]Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)
[2]Middle Technical University, Institute of Technology-Baghdad (Baghdad, Iraq)

Introduction. To search for effective methods of finishing and stripping of long-length parts, it is advisable to create a rotary-screw process system of a pass-through type. Its main working element is a screw rotor, which is a combination of flat elements of various shapes and sizes, multidirectional with respect to the helical lines around the perimeter. The purpose of this study is to justify the intensity of the machining process in devices equipped with a screw rotor.
Materials and Methods. Metal removal is accepted as the main parameter determining the intensity of the machining process in screw rotors. Within the framework of the presented study, processing was performed on an experimental rotary-screw installation. The processing medium consisted of molded abrasive pellets of the PT 10x10 brand. The research conditions were as follows: loading volume (without part) — 60 %; rotor speed — 50 rpm; processing time — 30, 60, 90 min; rotor axis tilt angles — 0^o and 5^o. The influence of treatment modes and conditions on the process intensity was considered on plate samples with dimensions of 80×10×1 mm made of aluminum alloy D16T. To determine metal removal, the samples were weighed on Ohaus AX223 analytical balance before and after processing.
Results. The patterns of metal removal from samples at different processing times, the location of samples in the working area of a screw rotor with different angles of inclination, and its speed are presented.
Discussion and Conclusions. The regularities established in the course of research indicate the efficiency of rotary-screw process systems for solving problems on the finishing treatment of long-length parts. The main factors that control such processing in devices with a screw rotor and affect its intensity (and, as a consequence, the process performance) are the screw rotor speed, the shape of the perimeter, and the axis angle.

Keywords: finishing and cleaning, screw rotor, long parts, processing medium, process intensity, metal removal.

***For citation*:** V. A. Lebedev, L. M. R. Al-Obaidi, Nikolay S. Koval. The finishing and cleaning of long parts in screw rotors. Advanced Engineering Research, 2022, vol. 22, no. 1, pp. 42–49. (In Russ). https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-1-42-49

Введение. Поиск эффективных путей отделочно-зачистной обработки длинномерных деталей [1–6] предопределил создание для решения этой задачи роторно-винтовой технологической системы проходного типа (рис. 1) [7–15] [1, 2].

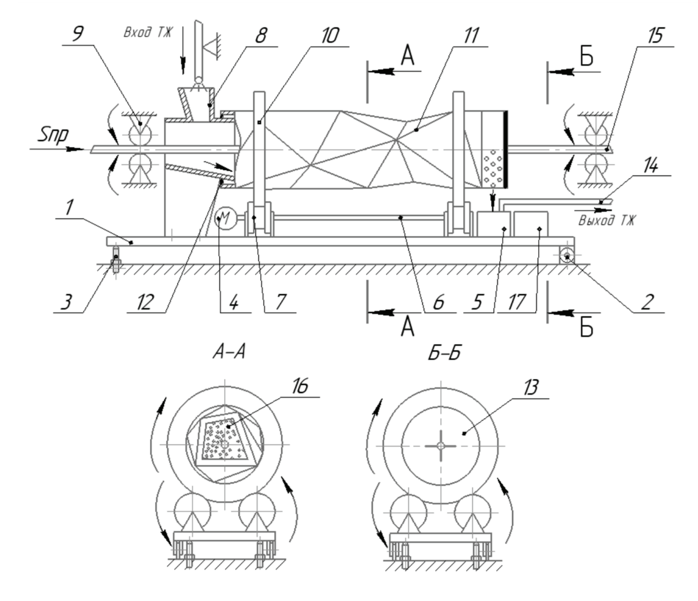


Рис. 1. Технологическая схема отделочно-зачистной обработки длинномерных деталей в винтовом роторе:
1 — установочная рама, 2 — проушины, 3 — регулировочные винты, 4 — двигатель, 5 — бак-отстойник, 6 — приводные валы, 7 — роликовые опоры, 8 — обечайки, 9 — ролики, 10 — ободы, 11 — винтовой ротор, 12 — прокладка, 13 — прокладка с прорезью, 14 — система трубопроводов, 15 — деталь, 16 — обрабатывающая среда, 17 — контейнер

[1] Устройство для вибрационной обработки длинномерных деталей : патент 2228252 Рос. Федерация : B24B 31/06 / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев, Г. В. Серга. № 2002135225/02 ; заявл. 25.12.2002 ; опубл. 10.05.2004, Бюл. № 13. 7 с.
[2] Агрегат для отделочно-зачистной обработки длинномерных деталей : патент 2750922 Рос. Федерация : B 24B 31/06 / В. А. Лебедев, Л. М. Р. Аль-Обайди, Н. С. Коваль, Г. В. Серга. № 2020119703 ; заявл. 15.06.2020 ; опубл. 06.07.2021, Бюл. № 19. 27 с.

Основным рабочим элементом этого типа технологической системы является винтовой ротор. Его периметр выполнен в виде сочетания плоских элементов различной формы и типоразмеров, разнонаправленных по отношению к винтовым линиям по их наружной поверхности. Обрабатывающая гранулированная среда находится внутри вращающегося винтового ротора. Увлекаемая плоскими элементами, в определенный момент под действием силы тяжести она лавинообразно скатывается вниз. При этом верхние слои масс загрузки вращаются вокруг собственных осей, втягивая близлежащие слои частиц масс загрузки. В результате частицы масс загрузки перекатываются относительно друг друга. К тому же при скатывании лавиной по неровной поверхности нижележащих слоев происходят удары небольшой силы и скольжение частиц масс загрузки. Таким образом, деталь обрабатывается истиранием, царапаньем и в небольшой мере ударами. Технологический эффект обработки зависит от габаритов винтового ротора, масс частиц обрабатывающей среды, коэффициента заполнения рабочей камеры, скорости вращения, геометрии винтового ротора и ряда других факторов.

Цель представленного исследования — обоснование интенсивности процесса обработки в устройствах, оснащенных винтовым ротором.

Материалы и методы. В качестве основного параметра, определяющего интенсивность процесса обработки деталей в винтовых роторах, принят съем металла.

Для обработки использовали экспериментальную роторно-винтовую установку, изготовленную на базе токарно-винторезного станка модели 1К625 (рис. 2).

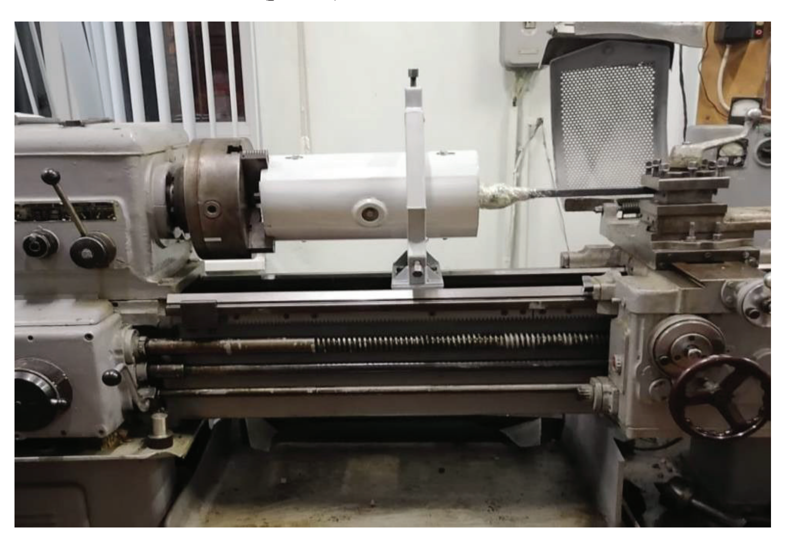


Рис. 2. Общий вид экспериментальной роторно-винтовой установки

Обрабатывающая среда состояла из формованных абразивных гранул марки ПТ 10×10. Условия исследования:

— объем загрузки (без детали) — 60 %,

— скорость вращения ротора — 50 об/мин,

— время обработки — 30, 60, 90 мин,

— углы наклона оси винтового ротора — 0^o и 5^o.

Влияние режимов и условий обработки на интенсивность процесса рассматривалось на пластинчатых образцах с размерами 80×10×1 мм из алюминиевого сплава Д16Т. Из этого материала выполнены заготовки в виде длинномерного проката, требующего отделки и зачистки перед запуском в производство.

В рабочей зоне экспериментального винтового ротора по длине рабочей зоны определялись три сечения *A*, *B*, *C* (рис. 3), удаленные от левого торца винтового ротора на расстояния l_0, l_1, l_2 .

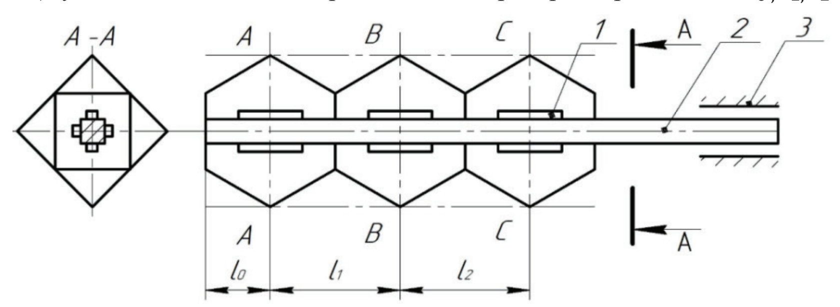


Рис. 3. Схема установки образцов на оправке в роторе:
1 — образцы; 2 — оправка; 3 — резцедержатели суппорта токарного станка

Образцы закреплялись на длинномерном четырехгранном полом стержне и устанавливались по схеме, представленной на рис. 3. Расстояния l_0, l_1, l_2 соответствуют положению сечений рабочей зоны ротора. Для оценки характера воздействия обрабатывающей среды на различные поверхности оправки в каждом положении (сечении) обрабатывалось по 4 образца. Их закрепляли на гранях оправки таким образом, что образцы 1 и 2 находились в зоне активного воздействия обрабатывающей среды (со скользящим слоем), а образцы 3 и 4 — в пассивной зоне (рис. 4).

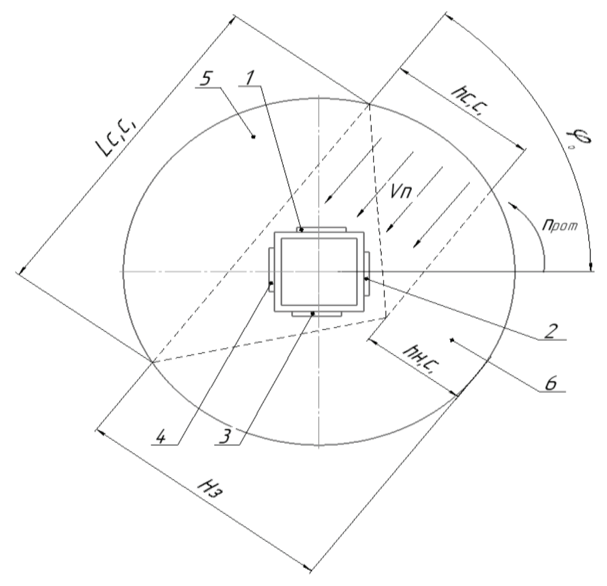


Рис. 4. Схема расположения образцов на оправке в сечении:

1, 2, 3, 4 — образцы; 5 — винтовой ротор; 6 — обрабатывающая среда

Оправка с образцами устанавливалась в резцедержателе суппорта токарного станка и вводилась в рабочую зону винтового ротора для обработки.

Для определения массового съема металла образцы взвешивали до и после обработки на аналитических весах Ohaus AX223. Данная модель предназначена для статических измерений массы веществ и материалов с точностью до 0,001 г. Съем металла контролировали после тщательной мойки и сушки образцов.

Удельный съем металла с единичной площади поверхности, равной площади квадрата упаковки гранул обрабатывающей среды, определялся из соотношения

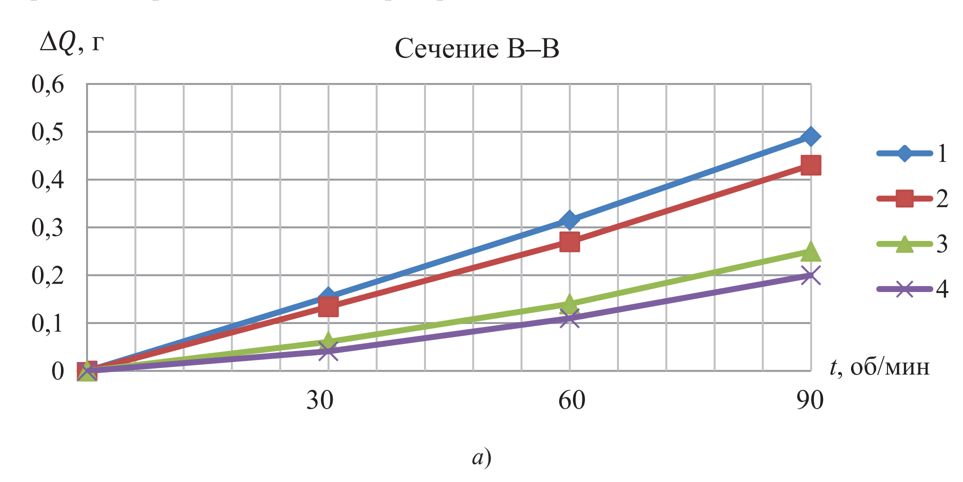
$$\gamma_{уд} = \frac{\Delta Q\ S_{уп}}{S \cdot t}, \text{ г/с},$$

где ΔQ — съем металла с поверхности, г; t — время обработки, с; S — площадь обрабатываемой поверхности образцов, мм^2; $S_{уп}$ — площадь квадрата упаковки гранул обрабатывающей среды, мм^2.

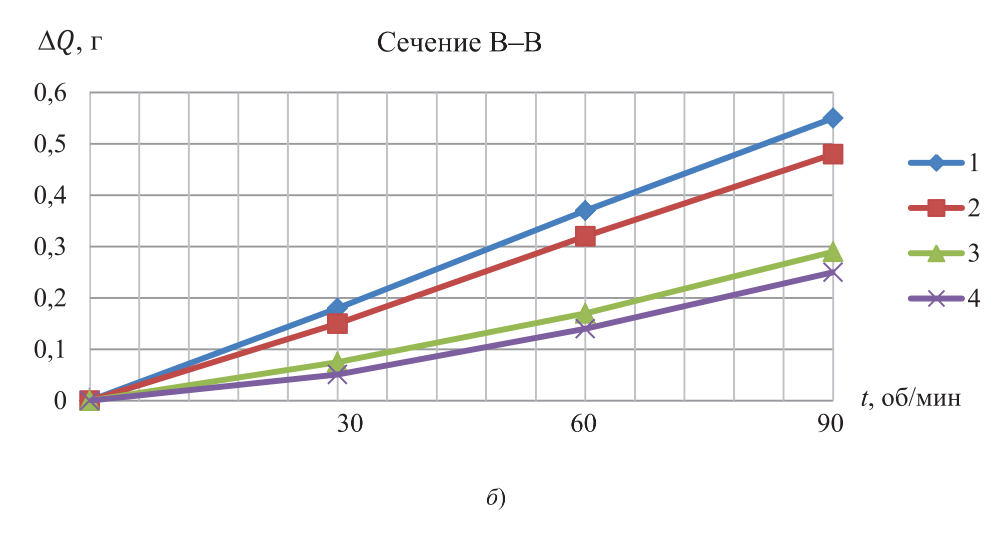
Продолжительность обработки фиксировалась с помощью реле времени (таймер) модели ВЛ-45УХЛ41.

Результаты экспериментов определялись как среднеарифметическая разность соответствующих значений измерений образцов или партии образцов до и после обработки.

Результаты исследования. На рис. 5–7 приведены результаты экспериментальных исследований интенсивности процесса обработки в винтовом роторе.

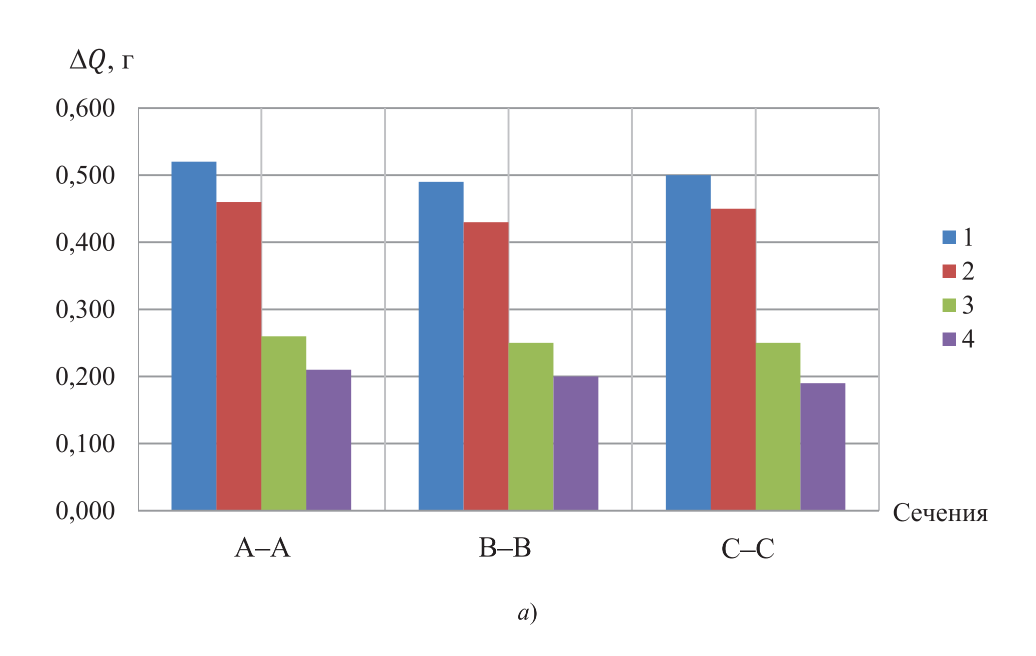


а)

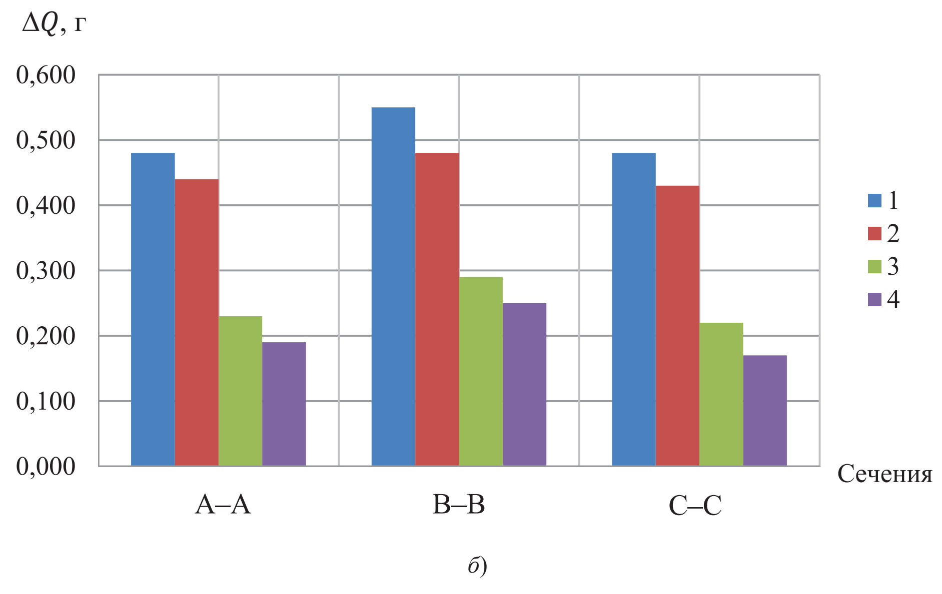


б)

Рис. 5. Изменение съема материала с образцов Д16Т в зависимости от продолжительности обработки и расположения образцов на оправке: с углом наклона 0° (*а*); с углом наклона 5° (*б*)

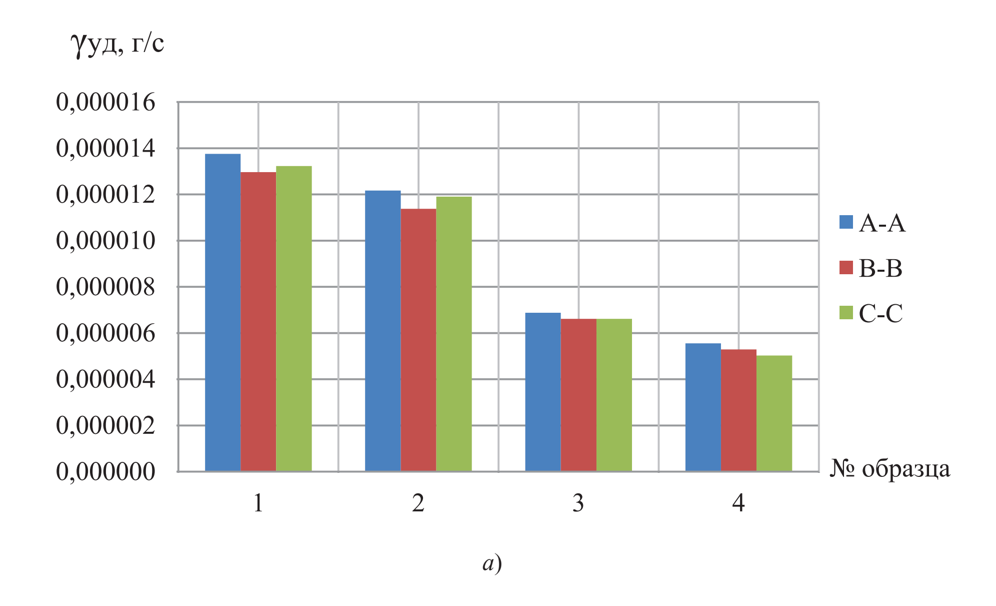


а)

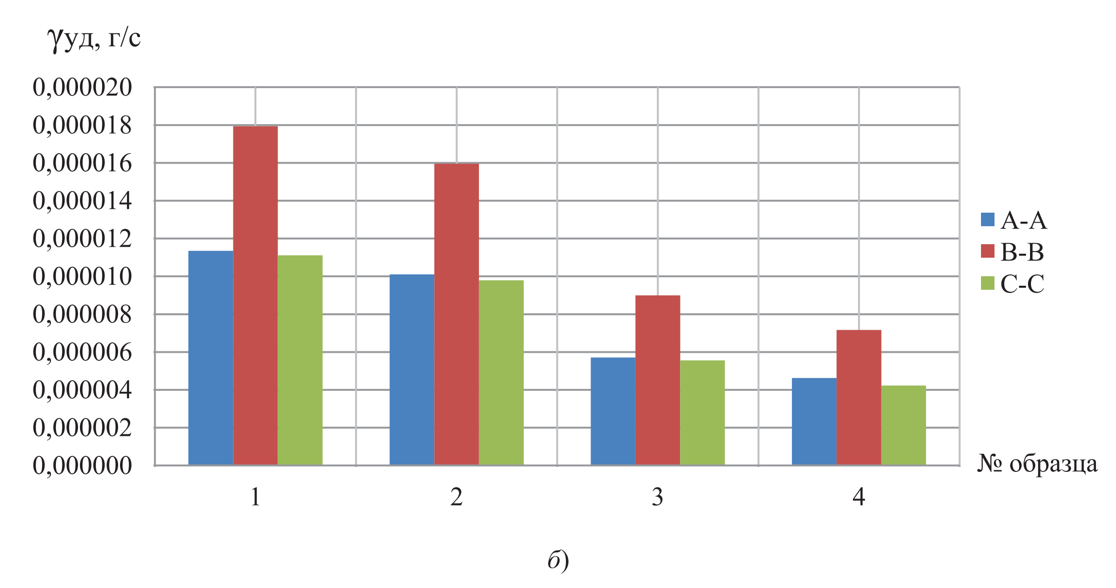


б)

Рис. 6. Изменение съема металла с образцов Д16Т в зависимости от их расположения в рабочей зоне винтового ротора (за 90 мин): с углом наклона 0° (*а*); с углом наклона 5°(*б*)



а)



б)

Рис. 7. Изменение удельного съема металла с образцов Д16Т в зависимости от их расположения на оправке (за 90 мин): с углом наклона 0° (*а*); с углом наклона 5° (*б*)

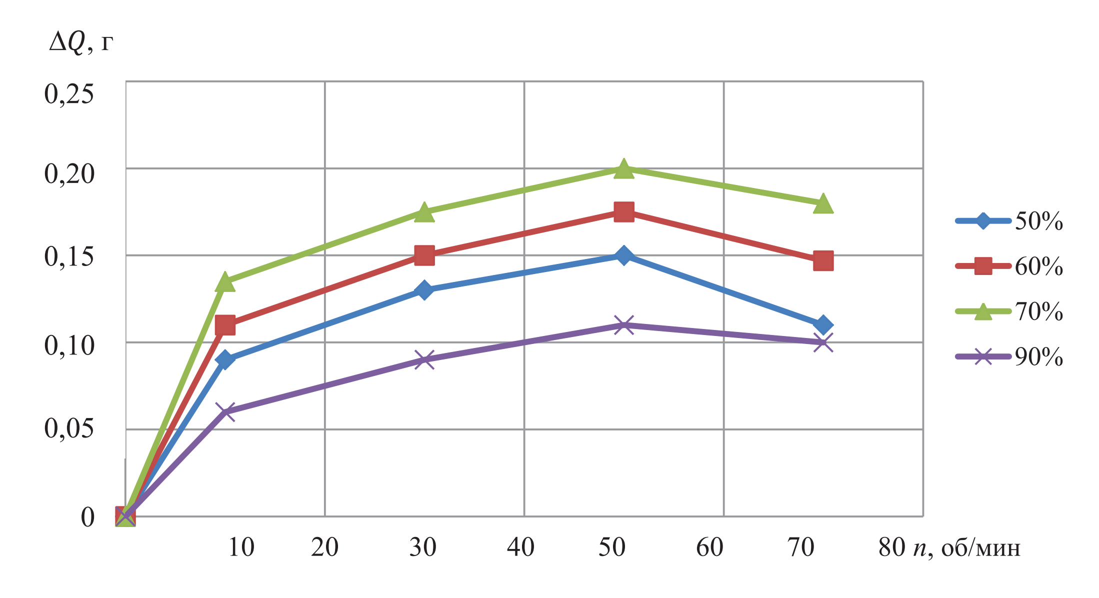


Рис. 8. Изменение съема металла с образцов Д16Т в зависимости от загрузки рабочей зоны винтового ротора обрабатывающей средой и скорости вращения (за 30 мин)

Обсуждение и заключения. Результаты исследований позволяют сделать ряд утверждений.

1. Вид кривой, описывающей изменение величины съема металла с поверхности от продолжительности обработки, близок к линейному (рис. 5). Это не зависит от расположения образцов в рабочей зоне винтового ротора, его конструктивного исполнения и угла наклона по отношению к оси вращения.

2. Кинетика движения частиц и, как следствие, интенсивность съема металла в различных сечениях рабочей зоны винтового ротора определяются углом наклона пластин, создающих форму рабочих секций ротора. При их одинаковой форме (рис. 3) обеспечивается практически одинаковая интенсивность обработки. Разница величин съема в трех сечениях составила 3 %.

3. Интенсивность обработки (рис. 5–7) зависит от положения поверхности образцов по отношению к направлению движения гранул скользящего слоя (рис. 4). Сравнивались два случая съема металла. Первый: с образцов 1 и 2, установленных в активной зоне воздействия обрабатывающей среды. Второй: с образцов 3 и 4, установленных в пассивной зоне, характеризующейся слабым энергосиловым взаимодействием с обрабатываемой поверхностью. В первом случае съем металла вдвое выше.

4. Изменение угла наклона оси винтового ротора по отношению к оси его вращения увеличивает интенсивность процесса обработки образцов в среднем сечении (В–В) в 1,2 раза и снижает ее в рабочих зонах крайних секций (рис. 5–7). Это обусловлено изменением кинематики движения обрабатывающей среды в рабочей зоне винтового ротора. При каждом полном обороте обрабатывающая среда стремится переместиться в среднюю часть рабочей зоны ротора (сечение В–В). Так обеспечиваются:

— постоянство давления объема среды на образцы;

— активация ударно-импульсного воздействия гранул обрабатывающей среды на поверхность образцов.

Кроме того, при изменении угла наклона оси винтового ротора снижается осевое давление обрабатывающей среды на торцевые стенки. Это очень важно для установок проходного типа, т. к. исключает высыпание гранул из отверстий, предназначенных для прохождения длинномерных деталей через рабочую зону.

5. Скорость вращения винтового ротора — важный технологический фактор, определяющий интенсивность процесса обработки в роторно-винтовой установке. Из рис. 8 видно, что при различной степени загрузки величина съема материала со всех образцов растет с увеличением скорости вращения винтового ротора до 50 об/мин. При повышении скорости до 70 об/мин показатель снижается. Это вызвано усилением центробежных сил. Их действие приводит к тому, что некоторый объем частиц обрабатывающей среды постоянно находится у стенок ротора. В результате сокращается количество скользящих слоев обрабатывающей среды, и, следовательно, снижается интенсивность воздействия на поверхность образцов.

Установленные в ходе исследований закономерности и технологические возможности процесса обработки в винтовом роторе свидетельствуют о приемлемости и эффективности применения роторно-винтовых технологических систем для решения задач, связанных с отделочной обработкой длинномерных деталей.

В проведенных изысканиях основными рассматриваемыми факторами были: скорость вращения винтового ротора, угол наклона его оси и форма периметра. Они обеспечивают управление отделочной обработкой в устройствах с винтовым ротором, влияют на его интенсивность, а значит, и на производительность процесса.

Библиографический список

1. Применение вибрационных технологий на операциях отделочно-зачистной обработки деталей / А. П. Бабичев, П. Д. Мотренко, Л. К. Гиллеспи [и др.]. — Ростов-на-Дону : Изд. центр ДГТУ, 2010. — 285 с.

2. Бабичев, А. П. Основы вибрационной технологии / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев. — 2-е изд., перераб. и доп. — Ростов-на-Дону : Изд. центр ДГТУ, 2008. — 693 с.

3. Бутенко, В. И. Финишная обработка поверхностей деталей: способы, устройства, инструменты / В. И. Бутенко. — Ростов-на-Дону : Изд. центр ДГТУ, 2016. — 219 с.

4. Tamarkin, M. A. Optimization of Dynamic Surface Plastic Deformation in Machining / M. A. Tamarkin, E. E. Tishchenko, A. S. Shvedova // Russian Engineering Research. — 2018. — Vol. 38. — P. 726–727. https://doi.org/10.3103/S1068798X18090277

5. Тамаркин, М. А. Основы оптимизации процессов обработки деталей свободным абразивом / М. А. Тамаркин, Э. Э. Тищенко. — Saarboniken : Lambert Academic Publishing, 2015. — 140 p.

6. Li Xin. Prediction of seal wear with thermal structural coupled finite element method / Li Xin, Peng Gaoliang, Li Zhe // Finite Elements in Analysis and Design. — 2014. — Vol. 83. — P. 10–21. https://doi.org/10.1016/j.finel.2014.01.001

7. Таратута, В. Д. Роторно-винтовые системы для зерноуборочных комбайнов / В. Д. Таратута, К. А. Белокур, Г. В. Серга // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2015. — № 57. — С. 197–206.

8. Pesin, M. V. Improving the Reliability of Threaded Pipe Joints / M. V. Pesin // Russian Engineering Research. — 2012. — Vol. 32. — P. 210–212. https://doi.org/10.3103/S1068798X12020232

9. Macdonald, K. A. Failure analysis of drillstrings / K. A. Macdonald, J. V. Bjune // Engineering Failure Analysis. — 2007. — Vol. 14. — P. 1641–1666. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2006.11.073

10. Xiao-Hua Zhu. The parameter sensibility analysis for fishing box tap based on the overall process of elastoplasticity in oil and gas wells / Xiao-Hua Zhu, Yu Wang, Hua Tong // Mathematical and Computer Modeling. — 2013. — Vol. 58. — P. 1540–1547. https://doi.org/10.1016/j.mcm.2013.06.004

11. Determining the life cycle of bolts using a local approach and the Dang Van criterion / Y. Fares, M. Chaussumier, A. Daidié, J. Guillot // Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures. — 2006. — Vol. 29. — P. 588–596. https://doi.org/10.1111/j.1460-2695.2006.01029.x

12. Серга, Г. В. Исследование физических явлений, происходящих в зоне контакта частиц сыпучих материалов при их движении в винтовых барабанах, методами теории подобия, инженерной и компьютерной графики / Г. В. Серга, Д. Г. Серый, А. Ю. Марченко // Вестник Брянского государственного технического университета. — 2019. — № 6 (79). — С. 20–28. https://doi.org/10.30987/article_5d10851f18f085.56011612

13. Повышение производительности технологических систем отделочно-зачистной и упрочняющей обработки деталей на основе винтовых роторов / Г. В. Серга, В. А. Лебедев, К. А. Белокур, Д. Я. Яковлев // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2016. — № 4 (136). — С. 16–19.

14. The study of fine-cleaning treatment for removal of burrs in screw rotor / V. A. Lebedev, G. V. Serga, M. M. Chaava [et al.] / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering this link is disabled. — 2021. — Vol. 1029. — Art. 012001. https://doi.org/10.1088/1757–899X/1029/1/012001

15. Lebedev, V. A. Method of Calculating the Machines Drive with Screw Working Bodies Mounted from Tetrahedral Hollows / V. A. Lebedev, G. V. Serga, M. M. Chaava // ICIE 2021: Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). — 2021. — P. 557–563. https://doi.org/10.1007/978–3–030–54814–8_64

Поступила в редакцию 29.12.2021
Поступила после рецензирования 24.01.2022
Принята к публикации 25.01.2022

Об авторах:

Лебедев Валерий Александрович, профессор кафедры «Технология машиностроения», Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, профессор, Scopus, ORCID, va.lebidev@yandex.ru

Аль-Обайди Луаи Мохаммед Раджаб, аспирант кафедры «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), преподаватель кафедры «Механические технологии» Среднего технического университета Технологического института Багдада (10074, Ирак, г. Багдад, ул. Аль-Зафарана), Scopus, ORCID, luayrajab@yahoo.com, luay_mohammed@mtu.edu.iq

Коваль Николай Сергеевич, доцент кафедры «Приборостроение и биомедицинская инженерия» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, Scopus, Researcher, ORCID, koval-nc@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

В. А. Лебедев — научное руководство, формирование основной концепции. Н. С. Коваль — определение целей и задач исследования, проведение расчетов, подготовка текста, формулирование выводов. Л. М. Р. Аль-Обайди — анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.